سال سی و چهارم، شمارهٔ یک، ۱۴۰۰
DOI: 10.22067/jfcei.2021.68556.1015

بررسی رفتار لرزه‌ای مخازن ذخیره‌ی مایع روزمینی بیضوی دوقلو*

مقاله پژوهشی

رضا لطفی[۱] مسعود محمودآبادی[۲] احسان دهقانی[۳]

چکیده *در این تحقیق، رفتار لرزه‌ای مخازن روزمینی بیضوی دوقلو مورد مطالعه قرار گرفته‌است. اساسا مخزن سازه‌ای است که برای ذخیره‌ی انواع مایع به‌کار می‌رود و در انواع زمینی و هوایی و نیز بتنی و فولادی کاربرد گسترده‌ای در تصفیه‌خانه‌ها و پالایشگاه‌ها و کارخانه‌ها دارد. در این تحقیق مخازن بیضوی روزمینی یک‌قلو و دوقلو در حالت‌های مختلف کشیدگی و لاغری مخزن، تحت زلزله‌های کیپ و طبس به‌طور هم‌زمان در جهات طولی و عرضی بااستفاده از نرم‌افزار فلوئنت به‌روش حجم محدود، تحت تحلیل دینامیکی قرار گرفته‌اند و پارامترهای فشار ماکزیمم ضربه‌ای و ارتفاع ماکزیمم موج حالت‌های متناظر با هم مقایسه شده‌اند. با بررسی نمودارهای به‌دست‌آمده مشخص شد که درصد کاهش پارامترهای فشار ماکزیمم ضربه‌ای و ارتفاع ماکزیمم موج به‌واسطه‌ی تقسیم مخزن، در مخازن لاغرتر بیشتر است. هم‌چنین مشخص گردید که درصد کاهش پارامترهای فشار ماکزیمم ضربه‌ای و ارتفاع ماکزیمم موج به‌واسطه‌ی تقسیم مخزن، در مخازن کشیده‌تر بیشتر می‌باشد.*

واژه‌های کلیدی تحلیل لرزه‌ای، مخزن بیضوی، تقسیم مخزن، کاهش تلاطم.

Study of the Seismic Behavior of the on-ground Bipartite Elliptical Liquid Storage Tanks

R. Lotfi M. Mahmoudabadi E. Dehghani

Abstract *The seismic behavior of the on ground bipartite elliptical tanks has been investigated in the current study. Basically, the tank is a structure used to store different types of fluid, and it is also widely used in refineries, sewage treatment plants and factories in the form of on ground and elevated tanks made from concrete and steel. The monoplete and double on ground elliptical tanks have been dinamically analyzed under Cape and Tabas earthquakes simoultaneously in the longitudinal and transverse directions in various conditions of prolateness and slenderness of the tank and the maximum impulsive pressure and the maximum wave height parameters of corresponding cases have been compared with eachother in the current research. By study of the concluded diagrams, it was revealed that the reduction percent of the maximum impulsive pressure and the maximum wave height parameters due to partitioning of the tank is higher in more slender tanks. It also was revealed that the reduction percent of the maximum impulsive pressure and the maximum wave height parameters due to partitioning of the tank is higher in more prolate tanks.*

Key Word Seismic analysis, Elliptical tank, Tank partitioning, Sloshing mitigation.

* تاریخ دریافت مقاله۱۳۹۹/۱۰/۱۲ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۰/۲/۱۳ می‌باشد.
(۱) دانشجوی دکتری سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران،
(۲) نویسنده مسئول: استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران.
(۳) استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران.
Email: m.mahmoudabadi@qom.ac.ir

مقدمه

آب ضروری‌ترین ماده برای حیات انسان است و در سایر فعالیت‌های بشر مثل فعالیت‌های صنعتی و بهداشتی و کشاورزی نیز کاربرد گسترده‌ای دارد. ازاین‌رو انسان از دیرباز به‌دنبال یافتن روش‌هایی برای کنترل و ذخیره و هدایت آب برای اهداف مختلف خود بوده‌است. ساخت آب‌انبارها و آب‌بندها و شبکه‌های قنات نمونه‌ای از تلاش‌های بشر در این زمینه به‌شمار می‌رود.

مخزن سازه‌ای است که برای ذخیره‌ی انواع مایع به‌کار می‌رود و در انواع زمینی و هوایی و نیز بتنی و فولادی کاربرد گسترده‌ای در تصفیه‌خانه‌ها و پالایشگاه‌ها و کارخانه‌ها دارد. باتوجه به اعمال نیروهای دینامیکی و هیدرودینامیکی عظیم به یک مخزن بزرگ در هنگام زلزله و اهمیت زیاد تداوم عملکرد کامل سازه‌ی مذکور در شرایط بحرانی، مطالعه‌ی رفتار لرزه‌ای آن از اهمیت بالایی برخوردار است.

در گذشته برای تحلیل و طراحی مخزن از روش‌های دستی ساده‌ای استفاده می‌شد که روش‌های مذکور به‌دلیل محدودیت‌های علمی و تکنولوژیک فاقد توانایی احتساب مسائل پیچیده‌ی علمی در تحلیل و طراحی بودند، اما امروزه با گسترش دانش اجزای محدود و تقویت سخت‌افزاری کامپیوترها و هم‌چنین پیشرفت نرم‌افزارهای کامپیوتری مختلف مثل آنسیس، امکان احتساب مسائل پیچیده‌ی علمی در تحلیل و طراحی مخازن فراهم گردیده‌است.

آنسیس دارای قابلیت مدل‌سازی سه‌بعدی انواع سازه‌های پیچیده به‌همراه محیط خاک و سیال مجاور آنها و نیز المان‌های جامد و سیال سه‌بعدی متنوعی با قابلیت‌های رفتاری گوناگون مانند کشسانی و مومسانی و اصطکاک و میرایی و هیبریدی می‌باشد، لذا در این تحقیق برای انجام تحلیل اجزای محدود از این نرم‌افزار استفاده شده‌است.

مسرول و فورتینی در سال ۱۹۸۷ دینامیک تلاطم مایع را در یک مخزن چنبره‌گونی مطالعه نمودند [1]. بائور و ایدل در سال ۱۹۸۹ نوسانات مایع را در یک مخزن بیضی‌گونی تحت مطالعه قرار دادند [2]. بارنیاک در سال ۱۹۹۷ نوسانات نرمال یک مایع لزج را در یک مخزن استوانه‌ای مدور افقی که تا قسمتی با مایع پر شده‌است، مورد بررسی قرار داد [3]. بائور در سال ۱۹۹۹ نوسانات مایع غیرلزج را در مخازن استوانه‌ای بیضوی افقی مطالعه نمود [4]. بائور و ایدل در سال ۲۰۰۰ نوسانات آزاد و اجباری یک مایع بی‌اصطکاک را در یک مخزن مستطیلی طویل با موانع سازه‌ای در سطح آزاد مایع بررسی نمودند [5]. چن و کیانوش در سال ۲۰۱۰ سیستم تک‌درجه‌ی آزادی تعمیم‌یافته را برای تحلیل دینامیکی مخازن مستطیلی بتنی ذخیره‌ی مایع بررسی نمودند. آنها نتیجه گرفتند که فرکانس توصیه‌شده برای استفاده در طراحی دیواره‌ی مخزن فرکانسی است که پاسخ دینامیکی ماکزیمم را ایجاد می‌کند [6]. شکیب و همکاران در سال ۲۰۱۰ تقاضای لرزه‌ای مخازن هوایی بتنی مسلح آب را مورد ارزیابی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که اثرات هم‌زمان افزایش جرم و کاهش سختی قاب‌بندی مخزن به افزایش برش پایه و گشتاور واژگونی و جابه‌جایی و فشار هیدرودینامیکی منجر می‌گردند [7]. گودرزی و همکاران در سال ۲۰۱۰ نیروی هیدرودینامیکی تلاطم را بر سقف‌های مخزن ذخیره، تحت تحلیل لرزه‌ای قرار دادند. آنها پارامترهای حل تحلیلی توسعه داده‌شده را بااستفاده از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی کالیبره نمودند [8]. آلگرین و همکاران در سال ۲۰۱۱ رفتار مخزن هوایی بتنی آب را در معرض حرکت مصنوعی زمین بررسی نمودند. آنها نشان دادند که رویه‌ی ساده‌شده برای ارزیابی خصوصیات و پاسخ دینامیکی مخزن هوایی بااستفاده از دو درجه آزادی، کافی‌تر است و از نظر اقتصادی ممکن است قابل کاربرد باشد [9]. مسکوریس و همکاران در سال ۲۰۱۱ مخازن ذخیره‌ی مایع را تحت تحلیل لرزه‌ای قرار دادند. آنها با جدول‌بندی عوامل متفاوت، روابط ریاضی پرزحمت را برای محاسبه‌ی مؤلفه‌های بار قابل اجتناب نمودند [10]. کیانوش و قائم مقامی در سال ۲۰۱۱ اثر

محتوای فرکانسی زلزله را بر رفتار لرزه‌ای مخازن مستطیلی بتنی مایع بااستفاده از روش اجزای محدود با احتساب اندرکنش خاک و سازه بررسی نمودند. آنها نتیجه گرفتند که رفتار دینامیکی سیستم سیال و مخزن و خاک تا حد بالایی به خصوصیات فرکانسی رکورد زلزله حساس می‌باشد [11]. ویشولک و همکاران در سال ۲۰۱۱ طراحی لرزه‌ای مخازن کروی ذخیره‌ی مایع را بررسی نمودند. آنها دریافتند که یک کره‌ی نگهداری‌شده توسط تعدادی از پایه‌ها به‌جای یک پاندول معکوس، بیشتر شبیه یک قاب رفتار می‌نماید [12]. گاوریلیوک و همکاران در سال ۲۰۱۱ روش چندمودی را برای تلاطم خطی مایع در یک مخزن مخروطی ناقص صلب ارائه نمودند. آنها دریافتند که استفاده از روش چندمودی خطی می‌تواند یک جایگزین مؤثر برای ابزار عددی و تحلیلی سنتی برای مطالعه‌ی نوسانات هم‌بسته باشد [13]. کاظم و مهرپویا در سال ۲۰۱۲ ارتفاع موج تلاطم را در مخازن استوانه‌ای پهن ذخیره‌ی نفت بااستفاده از روش‌های عددی تخمین زدند. آنها بااستفاده از رگرسیون آماری رابطه‌ای را برای ارتفاع موج برحسب نسبت ارتفاع آب به قطر مخزن به‌دست آوردند [14]. چاکر و لیوااغلو در سال ۲۰۱۲ مدل تحلیلی عملی سریعی را برای تحلیل سیستم‌های اندرکنشی خاک‌ریز و مخزن مستطیلی و سیال ارائه دادند. آنها نشان دادند که اندرکنش خاک‌ریز و انعطاف دیواره و اندرکنش سیال به‌طور قابل ملاحظه‌ای جابه‌جایی‌های جانبی را تحت تأثیر قرار می‌دهند [15]. مسلمی و کیانوش در سال ۲۰۱۲ رفتار دینامیکی مخازن زمینی استوانه‌ای را مورد مطالعه پارامتریک قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که رویه‌ی طراحی فعلی در تخمین فشار هیدرودینامیکی، بسیار محافظه‌کارانه می‌باشد [16]. جبار و پاتل در سال ۲۰۱۲ رفتار لرزه‌ای مخازن هوایی بتنی مسلح آب را تحت الگوهای اسکلت و خصوصیات زلزله‌ی متفاوت بررسی نمودند. آنها نشان دادند که پاسخ-های سازه به‌طور فوق‌العاده‌ای توسط وجود آب و خصوصیات زلزله تحت تأثیر قرار می‌گیرند [17]. کرالیک در سال ۲۰۱۲ اندرکنش خاک و سیال و مخزن را به‌واسطه‌ی رخداد زلزله تحت تحلیل دینامیکی قرار داد. او نتیجه گرفت که دیواره‌ی فولادی مخزن رضایت‌بخش است اما مهار مخزن به پی و رینگ بتنی مسلح و بلوک بتنی پی رضایت‌بخش نمی‌باشند [18]. رنجبر و همکاران در سال ۲۰۱۳ رفتار لرزه‌ای مخازن هوایی بتنی آب را مورد ارزیابی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که پاسخ‌های سیستم تا حد بالایی توسط پارامترهای سازه‌ای و مشخصات زلزله از قبیل محتوای فرکانس تحت تأثیر قرار می‌گیرند [19]. یوسفی و همکاران در سال ۲۰۱۳ مخازن ذخیره را با درنظرگرفتن اندرکنش خاک و سازه تحت تحلیل استاتیکی و دینامیکی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که با افزایش ضریب کشسانی و زاویه‌ی اصطکاک داخلی و وزن مخصوص خاک و کاهش چسبندگی آن فشار اعمالی بر دیواره‌ی مخزن به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد [20]. کلانی و همکاران در سال ۲۰۱٤ مخازن هوایی ذخیره‌ی آب را تحت مؤلفه‌های دورانی و انتقالی حرکات زمین تحت تحلیل دینامیکی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که مؤلفه‌های دورانی یک حرکت زمین اثر بیشتری روی جابه‌جایی افقی و نیروی برشی دارند اما نیروی واکنش قایم را تحت تأثیر قرار نمی‌دهند [21]. کتراسوا و همکاران در سال ۲۰۱٤ پاسخ دینامیکی تاریخچه‌زمانی مخزن استوانه‌ای را تحت زلزله با درنظر گرفتن اندرکنش سیال و سازه مورد بررسی قرار دادند. آنها دریافتند که دانستن فشارهای عمل‌کننده برروی دیواره‌ها و کف مخازن و فشارهای درون بدنه‌ی آنها و فرایند تلاطم سطح مایع و ارتفاع ماکزیمم موج آن در طی یک زلزله نقشی اساسی را در طراحی مطمئن و پایای مقاوم لرزه‌ای مخازن بازی می‌کند [22]. تیواری و هورا در سال ۲۰۱۵ سیستم مخزن اینتزه و سیال و خاک لایه-بندی‌شده را تحت تحلیل اندرکنشی قرار دادند. مخزن اینتزه نوعی مخزن هوایی است که در آن یک مخزن استوانه‌ای برروی یک پایه‌ی استوانه‌ای تکی قرار می‌گیرد. آنها دریافتند که اثر مختلف مخزن ایجاد می‌نماید [23].

تیواری و هورا در سال ۲۰۱۵ سیستم مخزن هوایی آب اینتزه و سیال و خاک را تحت تحلیل گذرا قرار دادند. آنها دریافتند که فرکانس طبیعی سیستم اندرکنشی کاهش می‌یابد هنگامی‌که وزن آب در مخزن افزایش می‌یابد [24]. عالم‌زاده و شکیب در سال ۲۰۱۶ پاسخ مخازن زمینی فولادی را با حرکت گهواره‌ای آزاد تحت اثر تحریک افقی زلزله مورد مطالعه‌ی عددی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که پاسخ‌های نیرویی مخزن مهارنشده نسبت‌به مخزن مهارشده کاهش و پاسخ‌های تغییرمکانی بام و جرم ضربه‌ای سیال افزایش دارند [25]. موسی و الدماتی در سال ۲۰۱۷ رویه‌ی طراحی را برای مخازن مخروطی فولادی ذخیره‌ی مایع تحت بارگذاری لرزه‌ای ارائه کردند. آنها نتیجه گرفتند که برش پایه‌ی ضربه‌ای ماکزیمم هنگامی‌که مخزن مایل‌تر می‌شود کاهش می‌یابد درحالی‌که برش پایه‌ی مواج برای مقادیر زاویه‌ی شیب بالاتر افزایش پیدا می‌کند [26]. سن سباستیان و همکاران در سال ۲۰۱۷ مخزن هوایی آب را در یک ساختمان قاب‌بندی‌شده تحت تحلیل لرزه‌ای قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که مخزن مستطیلی آب قرارگرفته نزدیک موقعیت گوشه در ساختمان قاب‌بندی‌شده از گزینه‌های دیگر بهتر عمل می‌کند [27]. گورکالو و همکاران در سال ۲۰۱۷ یک برج آب بتنی مسلح شکاف‌دار ابداعی را در مناطق لرزه‌ای تحت تحلیل غیرخطی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که با یک طراحی مناسب تبدیل یک برج آب توپر به یک برج شکافدار می‌تواند به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای شکل‌پذیری آن را تحت کنش لرزه‌ای بدون لطمه‌ی قابل ملاحظه به ظرفیت باربری آن افزایش دهد [28]. کتراسوا و همکاران در سال ۲۰۱۷ علل ممکن آسیب به مخازن بتنی را با بررسی عددی اندرکنش سیال و سازه و خاک مورد مطالعه قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که وقتی مخزن بتنی روی خاک‌های نرم قرار داده می‌شود اندرکنش سیال و سازه و خاک نقش مهمی را در پاسخ لرزه‌ای مخازن ذخیره خواهد داشت [29]. فان و همکاران در سال ۲۰۱۷ مخازن فولادی هوایی ذخیره‌ی متکی بر ستون‌های بتنی مسلح را تحت تحلیل شکنندگی لرزه‌ای قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که در حالت تحلیل‌شده، شتاب ماکزیمم زمین بهترین عملکرد را در میان تخمین‌های شدت انتخاب‌شده بروز می‌دهد [30]. کمپاگنونی و کورادلی در سال ۲۰۱۷ پاسخ مخازن فولادی استوانه‌ای را تحت تحریک لرزه‌ای مورد مطالعه‌ی آزمایشگاهی و عددی قرار دادند. آنها نشان دادند که مدل مکانیکی ساده‌شده، ارتفاع تلاطم را کمتر از حد و نیروی برشی پایه و گشتاور واژگونی را بیشتر از حد تخمین می‌زند [31]. نارش در سال ۲۰۱۹ تحلیل لرزه‌ای مخزن آب اینتزه‌ی هوایی را تحت اثر تلاطم انجام داد. او نتیجه گرفت که به‌منظور اجتناب از گسیختگی، رجحان زیادی باید به تلاطم در مناطق مستعد زلزله داده‌شود و ارتفاع آزاد کافی باید برای کنترل حرکت تلاطمی سیال تأمین شود [32]. جوزف و همکاران در سال ۲۰۱۹ اثر اندرکنش سیال- سازه- خاک را روی رفتار دینامیکی مخازن آب دایره‌ای مطالعه نمودند. آنها نتیجه گرفتند که خصوصیت خاک، محتوای بسامد زلزله و میزان پرشدگی از آب اثر قابل ملاحظه‌ای روی رفتار لرزه‌ای مخازن آب دارند [33]. راوات و همکاران در سال ۲۰۱۹ تلاطم ناشی از زلزله و فشارهای هیدرودینامیکی را در مخازن صلب ذخیره‌ی مایع تحلیل‌شده به‌وسیله‌ی روش‌های سازه‌ای- آکوستیک هم‌بسته و اویلری- لاگرانژی مطالعه کردند. آنها نتیجه گرفتند که غیرخطی بودن جابه‌جایی موج تلاطم، نقش مهمی را هنگام محاسبه‌ی توزیع فشار هیدرودینامیکی روی دیوارهای مخزن صلب بازی نمی‌کند [34]. بهنام‌فر و همکاران در سال ۲۰۱۹ تحلیل دینامیکی مخازن بتنی منعطف ذخیره‌ی استوانه‌ای را تحت حرکت افقی و قائم زمین انجام دادند. آنها نتیجه گرفتند که تخمین‌های آیین-نامه‌ی ای‌سی‌آی ۳–۳۵۰، متفاوت با تخمین‌های روش تحلیلی آنها هستند که به‌واسطه‌ی احتساب ناکافی انعطاف دیوار به‌وسیله‌ی این آیین‌نامه می‌باشد [35]. اوهلیروا و همکاران در سال ۲۰۱۹ تحلیل دینامیکی مخزن مستطیلی را بااستفاده از طیف‌های پاسخ انجام دادند. آنها نتیجه

گرفتند که هرچه رده‌ی زیر خاک یا مقدار شتاب لرزه‌ای بالاتر باشد، اثرات بار لرزه‌ای روی خود سازه بزرگ‌تر می‌باشد [36]. ژانگ و همکاران در سال ۲۰۲۰ اثر مؤلفه-های جهتی زلزله‌ها را روی رفتار لرزه‌ای یک مخزن فولادی مهارنشده مطالعه نمودند. آنها نتیجه گرفتند که مؤلفه‌ی لرزه‌ای قائم، تنش محوری فشاری بالایی را تولید می‌کند و آن هم‌چنین باعث افزایش برکنش و لغزش کف مخزن به‌طور قابل ملاحظه‌ای می‌گردد [37]. راوات و همکاران در سال ۲۰۲۰ تحلیل لرزه‌ای مخزن فولادی ذخیره‌ی مایع استوانه‌ای را بااستفاده از روش جزء محدود سازه‌ای– آکوستیک هم‌بسته برای اندرکنش سیال– سازه انجام دادند. آنها نتیجه گرفتند که جابه‌جایی تلاطم به‌وسیله‌ی انعطاف مخزن تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد اما فشار هیدرودینامیکی ضربه‌ای و مؤلفه‌ی ضربه‌ای برش پایه با انعطاف مخزن افزایش می‌یابد [38]. جانی و همکاران در سال ۲۰۲۰ اثرات وضعیت خاک را روی مخزن آب هوایی بااستفاده از تحلیل تاریخچه‌زمانی با سامانه‌های اسکلت متفاوت مطالعه کردند. آنها نتیجه گرفتند که نوع خاک اثر قابل ملاحظه‌ای روی اندرکنش خاک و سازه دارد. خاک نرم اندرکنش بیشتری با سازه از خاک متوسط و سنگی دارد [39]. دوبی و همکاران در سال ۲۰۲۰ تحلیل تاریخچه‌زمانی مخزن آب زیرزمینی را برای شدت‌های لرزه‌ای متفاوت انجام دادند. آنها نتیجه گرفتند که روش تاریخچه‌زمانی برای تضمین ایمنی در برابر نیروهای زلزله لازم می‌گردد [40]. پاندیت و همکاران در سال ۲۰۲۰ ارزیابی ویژگی‌های دینامیکی تلاطم سیال را در مخازن با کف شیب‌دار انجام دادند. آنها نتیجه گرفتند که پاسخ دینامیکی مشخص می‌شود که با افزایش در شیب مخزن افزایش می‌یابد حتی اگر جرم سیال ثابت بماند [41].

به‌طور خلاصه می‌توان گفت که در گذشته تحلیل-های مختلف استاتیکی و دینامیکی و نیز کارهای ریاضیاتی و آزمایشگاهی گوناگونی برروی انواع مخازن زمینی و هوایی با شکل‌های مستطیلی و دایره‌ای انجام گردیده‌است. ولی نه در مجموعه‌ی مقالات پژوهشی و نه در مجموعه‌ی آیین‌نامه‌های طراحی، کاری برروی مخازن بیضوی انجام نشده‌است، لذا مطالعه‌ی رفتار لرزه‌ای مخازن بیضوی، نوآوری این تحقیق محسوب می‌گردد.

در حالت منعطف، مخزن بیضوی نسبت‌به مخزن مستطیلی سختی بیشتری دارد لذا تحت زلزله، دچار تغییر شکل و ترک‌خوردگی کمتری می‌شود. هم‌چنین مخزن بیضوی به‌دلیل نداشتن گوشه‌های تیز نسبت‌به مخزن مستطیلی، دچار تمرکز تنش بسیار کمتری می‌گردد. ضمنا از نظر پدافند غیرعامل، شکل منحنی بیضی نسبت‌به شکل خطی مستطیل، بهتر عمل می‌نماید.

مخزن بیضوی دوقلو مطابق شکل (۱) مخزنی بیضوی است که دارای قسمت‌های داخلی بیضوی و حلقوی می‌باشد. به‌طور کلی تقسیم مخازن به دو قسمت هم‌حجم، هم از نظر بهره‌برداری و هم از نظر بارگذاری باعث افزایش بازدهی آنها می‌گردد. از دیدگاه بهره-برداری، در هنگام تخلیه یک قسمت جهت تعمیر یا نظافت آن، پربودن قسمت دیگر، قابلیت بهره‌برداری مخزن را حفظ می‌نماید. از دیدگاه بارگذاری، به‌دلیل کم شدن ابعاد افقی آب هر قسمت، فشار مواج ناشی از تلاطم آب در هنگام زلزله بر مخزن کاهش می‌یابد.

دو ضریب لاغری و کشیدگی در مخازن بیضوی و دایره‌ای کاربرد زیادی دارند و به‌صورت زیر تعریف می-شوند:

ضریب لاغری مخزن بیضوی دوقلو از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\lambda = \frac{h}{L} \qquad (۱)$$

که در رابطه‌ی فوق h و L به‌ترتیب ارتفاع آب مخزن برحسب متر و طول خارجی مخزن برحسب متر می-باشند.

هم‌چنین ضریب کشیدگی مخزن بیضوی دوقلو از رابطه‌ی زیر تعیین می‌گردد:

$$\eta = \frac{L}{B} \qquad (۲)$$

که در رابطه‌ی فوق B عرض خارجی مخزن برحسب متر است.

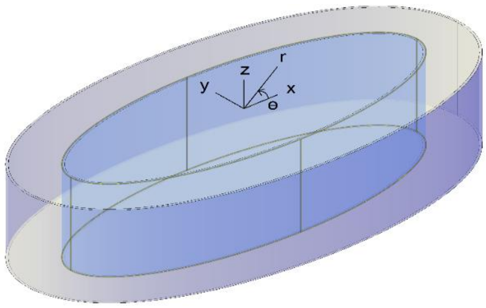
در این تحقیق مخازن بیضوی روزمینی یک‌قلو و دوقلو در حالت‌های مختلف کشیدگی و لاغری مخزن تحت زلزله‌های کیپ و طبس به‌طور هم‌زمان در جهات طولی و عرضی تحت تحلیل دینامیکی قرار گرفته‌اند و پارامترهای فشار ماکزیمم ضربه‌ای و ارتفاع ماکزیمم موج حالت‌های متناظر با هم مقایسه شده‌اند.

بیان مسئله

اصولا پدیده‌ی تلاطم مایع به پایین‌آمدن و بالارفتن سطح آزاد آب در ابتدا و انتهای مخزن تحت بار زلزله اطلاق می‌گردد.

به‌طور کلی معادله‌ی دیفرانسیل حاکم بر پدیده‌ی تلاطم مایع در مخزن صلب تحت شتاب زلزله، معادله‌ی لاپلاس است که با شرایطی مرزی روی کف مخزن و دیوار آن و سطح آزاد مایع همراه می‌باشد.

فرض می‌شود که به یک مخزن بیضوی دوقلوی صلب روزمینی مطابق شکل (۱) شتاب‌های زلزله در جهات x و z اعمال گردد.



شکل ۱ مخزن بیضوی دوقلو

مبدأ مختصات در مرکز سطح آزاد مایع درنظر گرفته می‌شود به‌طوری‌که جهت مثبت محور قائم به‌سمت بالا قرار گیرد.

معادله‌ی لاپلاس حاکم بر تلاطم مایع درون این مخزن در مختصات استوانه‌ای به‌شکل زیر نوشته می‌شود [42]:

$$\frac{1}{r}\frac{\partial \varphi}{\partial r}+\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2}+\frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2}=0 \qquad (۳)$$

دررابطه‌ی فوق φ تابع پتانسیل سرعت نوسان مایع برحسب مترمربع بر ثانیه است. r و θ و z نیز به‌ترتیب مختصه‌ی شعاعی برحسب متر و مختصه‌ی زاویه‌ای برحسب رادیان و مختصه‌ی قائم برحسب متر می‌باشند.

شرط مرزی نوسان مایع در مجاورت کف مخزن به‌صورت زیر بیان می‌شود [42]:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z}=0 \qquad @ \qquad z=-h \qquad (٤)$$

در رابطه‌ی فوق h ارتفاع مایع برحسب متر است.

شرط مرزی نوسان مایع در مجاورت دیوار خارجی مخزن به‌صورت زیر بیان می‌گردد [42]:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial r}=0 \qquad @ \qquad r=\frac{1}{2}\sqrt{(L\cos\theta)^2+(B\sin\theta)^2} \qquad (٥)$$

در رابطه‌ی فوق L و B به‌ترتیب طول خارجی مخزن برحسب متر و عرض خارجی مخزن برحسب متر می‌-باشند.

هم‌چنین شرط مرزی نوسان مایع در مجاورت دیوار داخلی مخزن به‌صورت زیر بیان می‌گردد [42]:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial r}=0 \qquad @ \qquad r=\frac{1}{2}\sqrt{(l\cos\theta)^2+(b\sin\theta)^2} \qquad (٦)$$

در رابطه‌ی فوق l و b به‌ترتیب طول داخلی مخزن برحسب متر و عرض داخلی مخزن برحسب متر می‌-باشند.

شرط مرزی اول نوسان در سطح آزاد مایع به‌صورت زیر بیان می‌شود [42]:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z}+\frac{\partial s}{\partial t}=0 \qquad @ \qquad z=s \qquad (٧)$$

در رابطه‌ی فوق s و t به‌ترتیب ارتفاع موج مایع برحسب متر و زمان برحسب ثانیه می‌باشند.

شرط مرزی دوم نوسان در سطح آزاد مایع نیز به‌صورت زیر بیان می‌گردد [42]:

$$s(g+a_z)-\frac{\partial \varphi}{\partial t}+a_x r\cos\theta=0 \qquad @ \qquad z=s \qquad (٨)$$

در رابطه‌ی فوق g شتاب ثقل برحسب متر بر مجذور ثانیه است. a_x و a_z نیز به‌ترتیب شتاب طولی زلزله برحسب متر بر مجذور ثانیه و شتاب قائم زلزله برحسب متر بر مجذور ثانیه می‌باشند [42].

در دینامیک سیالات محاسباتی، مدل‌های آشفتگی دومعادله‌ای به‌طور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. آنها سازگاری مناسبی را میان تلاش عددی و دقت محاسباتی ارائه می‌دهند.

مدل‌های دومعادله‌ای از مدل‌های بی‌معادله، بسیار پیچیده‌تر هستند. در آنها هر دو مقیاس سرعت و طول بااستفاده از معادلات انتقال جداگانه حل می‌گردند.

مدل دومعادله‌ای کی‌اپسیلون، از فرضیه‌های پخش گرادیان برای مرتبط ساختن تنش‌های رینولدز با گرادیان-های سرعت میانگین و لزجت آشفته استفاده می‌نماید. لزجت آشفته به‌صورت حاصل‌ضرب یک سرعت آشفته و مقیاس طول آشفته مدل‌سازی می‌شود.

در مدل‌های دومعادله‌ای، مقیاس سرعت آشفتگی از انرژی جنبشی آشفته محاسبه می‌گردد که از حل معادله‌ی انتقالش به‌دست می‌آید.

مقیاس طول آشفته از دو ویژگی میدان آشفتگی (معمولا انرژی جنبشی آشفته و نرخ نشت آن) تخمین زده می‌شود. نرخ نشت انرژی جنبشی آشفته از حل معادله‌ی انتقالش به‌دست می‌آید.

لزجت انرژی برحسب پاسکال‌ثانیه از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\mu_k = \mu + \frac{\rho c_\mu k^2}{\varepsilon \sigma_k} \quad (۹)$$

در رابطه‌ی فوق μ و ρ به‌ترتیب لزجت مایع برحسب پاسکال‌ثانیه و چگالی مایع برحسب کیلوگرم بر مترمکعب هستند. k و ε به‌ترتیب انرژی جنبشی آشفتگی برحسب مترمربع بر مجذور ثانیه و نشت گردابی آشفتگی برحسب مترمربع بر ثانیه‌ی مکعب می‌باشند. c_μ و σ_k نیز ثابت‌های مایع درنظر گرفته می‌شوند.

لزجت نشت برحسب پاسکال‌ثانیه از رابطه‌ی زیر تعیین می‌گردد:

$$\mu_\varepsilon = \mu + \frac{\rho c_\mu k^2}{\varepsilon \sigma_\varepsilon} \quad (۱۰)$$

در رابطه‌ی فوق σ_ε ثابت مایع درنظر گرفته می‌شود.

تولید آشفتگی برحسب پاسکال بر ثانیه از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$P_k = \frac{\rho c_\mu k^2}{\varepsilon} \left(2\left((\frac{\partial v_x}{\partial x})^2 + (\frac{\partial v_y}{\partial y})^2 + (\frac{\partial v_z}{\partial z})^2\right) + (\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x})^2 + (\frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial x})^2 + (\frac{\partial v_y}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial y})^2\right) \quad (۱۱)$$

در رابطه‌ی فوق x و y به‌ترتیب مختصه‌ی طولی برحسب متر و مختصه‌ی عرضی برحسب متر هستند. v_x و v_y و v_z نیز به‌ترتیب سرعت طولی برحسب متر بر ثانیه و سرعت عرضی برحسب متر بر ثانیه و سرعت قائم برحسب متر بر ثانیه می‌باشند.

معادله‌ی تولید آشفتگی به‌صورت زیر نوشته می-شود:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho k v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho k v_z)}{\partial z} = P_k - \rho\varepsilon + \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu_k \frac{\partial k}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu_k \frac{\partial k}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\mu_k \frac{\partial k}{\partial z}\right) \quad (۱۲)$$

همچنین معادله‌ی نشت آشفتگی به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho\varepsilon v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho\varepsilon v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho\varepsilon v_z)}{\partial z} = \frac{\varepsilon}{k}(c_{\varepsilon1}P_k - c_{\varepsilon2}\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu_k \frac{\partial k}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu_k \frac{\partial k}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\mu_k \frac{\partial k}{\partial z}\right) \quad (۱۳)$$

در رابطه‌ی فوق $c_{\varepsilon1}$ و $c_{\varepsilon2}$ ثابت‌های مایع درنظر

گرفته می‌شوند.

نرم‌افزار فلوئنت برای حل عددی معادلات فوق از روش حجم محدود استفاده می‌کند. روش حجم محدود شامل مراحل زیر می‌گردد:

۱. تقسیم‌بندی ناحیه‌ی حل به حجم‌های کوچک‌تر بااستفاده از شبکه‌بندی ناحیه‌ی محاسباتی.
۲. انتگرال‌گیری معادلات بقا روی هر سلول به‌منظور دست‌یابی به رابطه‌هایی جبری برای متغیرهای وابسته، نظیر سرعت و فشار و دما.
۳. خطی‌سازی معادلات گسسته‌شده و حل سیستم معادلات خطی به‌دست‌آمده برای محاسبه‌ی مقادیر به‌روزشده‌ی متغیرهای وابسته، نظیر سرعت و فشار و دما و آشفتگی.
٤. چک کردن هم‌گرایی مسئله [43].

بااستفاده از شرط تساوی حجم آب قل‌های بیضوی و حلقوی، معادله‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$\mathrm{bl} = \frac{\mathrm{BL}}{2} \qquad (١٤)$$

هم‌چنین بااستفاده از شرط توازی دیوارهای بیضوی خارجی و داخلی، معادله‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$\mathrm{l} - \mathrm{b} = \mathrm{L} - \mathrm{B} \qquad (١٥)$$

با حل هم‌زمان دستگاه معادلات (١٤) و (١٥)، طول داخلی و عرض داخلی مخزن بیضوی به‌دست می‌آیند.

پدیده‌ی تلاطم مایع تحت زلزله‌های قوی فشارهای هیدرودینامیکی بزرگی را در مخازن متوسط ایجاد می‌نماید. باتوجه به لزوم طراحی اقتصادی مخازن، لازم است که با روش‌های مناسبی اثرات پدیده‌ی تلاطم را بر آنها کاهش داد.

یکی از بهترین روش‌های کاهش تلاطم مایع در مخازن، تقسیم آنها به دوقل با حجم مساوی می‌باشد. دیوار داخلی موازی با دیوار خارجی، ابعاد افقی مایع هر قل را کم می‌کند و از این طریق تلاطم مایع را کاهش می‌دهد.

کارایی دیوار داخلی در کاهش تلاطم مایع درون مخزن بیضوی به‌میزان لاغری و کشیدگی آن بستگی دارد. هدف این تحقیق بررسی اثر پارامترهای لاغری و کشیدگی مخزن بیضوی دوقلوی روزمینی بر کارایی دیوار داخلی در کاهش تلاطم مایع درون آن، تحت زلزله‌های اعمالی در جهات طولی و عرضی به‌طور هم‌زمان می‌باشد.

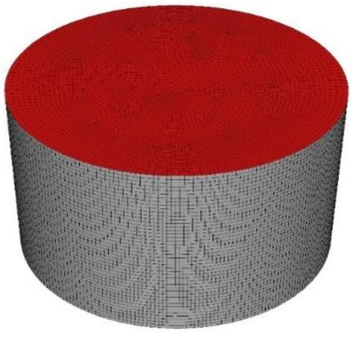
به‌طور کلی هم‌گرایی تحلیل‌های اندرکنشی مبتنی بر مخزن منعطف، نسبت‌به اندازه‌ی شتاب زلزله حساسیت بالایی دارد و نیازمند صرف زمان زیادی می‌باشد. هم‌چنین آیین‌نامه‌های طراحی مخازن از روابط مبتنی بر مخزن صلب برای بارگذاری لرزه‌ای مخازن استفاده می‌نمایند.

براساس مطالعه‌ی مسلمی، انعطاف دیواره‌ی مخزن تأثیر ناچیزی بر پارامترهای دینامیکی مود مواج نوسان سیال در مخزن تحت بار زلزله دارد [44].

بنابراین باتوجه به این‌که تحقیق حاضر به بارگذاری لرزه‌ای مخازن بیضوی دوقلوی روزمینی می‌پردازد، در این مطالعه با فرض مخزن صلب، از اثر اندرکنش آب و سازه صرف‌نظر گردیده‌است.

صحت‌سنجی روش

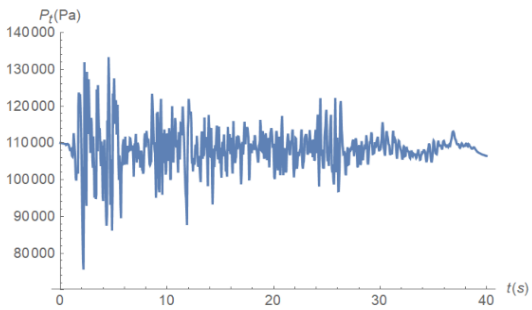
برای صحت‌سنجی روش تحقیق، یک مخزن صلب روزمینی دایره‌ای با کف گیردار به قطر ۳۴ متر و ارتفاع آب ۱۱ متر مطابق شکل (۲) تحت مؤلفه‌ی طولی زلزله‌ی السنترو مورد تحلیل دینامیکی قرار گرفته‌است.



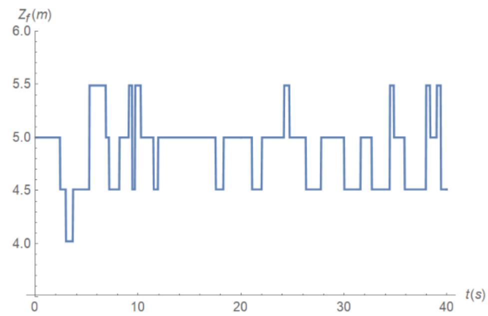
شکل ۲ مخزن دایره‌ای روزمینی

مسلمی در سال ۲۰۱۱ فشار ماکزیمم ضربه‌ای و ارتفاع ماکزیمم موج مخزن مذکور را تحت زلزله‌ی فوق الذکر به‌دست آورده‌است [44].

در تحقیق حاضر بااستفاده از نرم‌افزار فلوئنت، نمودارهای فشار کل و تراز سطح آزاد آب برحسب زمان به‌ترتیب مطابق شکل‌های (۳) و (٤) به‌دست آمده‌اند.



شکل ۳ نمودار فشار کل آب برحسب زمان



شکل ٤ نمودار تراز سطح آزاد آب برحسب زمان

فشار ماکزیمم ضربه‌ای آب برحسب پاسکال از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$P_i = |P_t - \gamma_w h| \quad (١٦)$$

در رابطه‌ی فوق P_t فشار کل آب برحسب پاسکال است. γ_w نیز وزن مخصوص آب برحسب نیوتن بر مترمکعب می‌باشد.

ارتفاع ماکزیمم موج آب برحسب متر از رابطه‌ی زیر تعیین می‌گردد:

$$h_w = |z_f - z_s| \quad (١٧)$$

در رابطه‌ی فوق z_f و z_s به‌ترتیب تراز سطح آزاد دینامیکی و استاتیکی آب برحسب متر می‌باشند.

نتایج مطالعه‌ی مسلمی و تحقیق حاضر در جدول (۱) مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

جدول ۱ مقایسه‌ی نتایج مطالعه‌ی مسلمی و تحقیق حاضر

نام متغیر	واحد متغیر	مطالعه‌ی مسلمی	تحقیق حاضر
فشار ماکزیمم ضربه‌ای	پاسکال	۳٦۰۰۰	۳۵۰۰۰
ارتفاع ماکزیمم موج	متر	۰/۹	۱

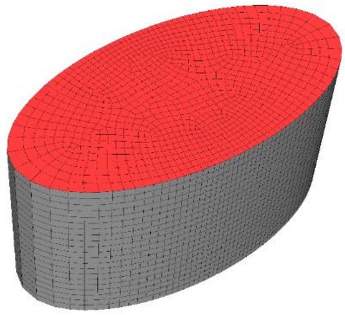
بررسی جدول (۱) نشان می‌دهد که نتایج متناظر مطالعه‌ی مسلمی و تحقیق حاضر، با دقت مناسبی با یکدیگر تطابق دارند.

روش تحقیق

در این تحقیق برای تحلیل دینامیکی سیستم با نرم‌افزار فلوئنت از روش تاریخچه‌زمانی استفاده شده‌است. برای انجام این کار، سرعت‌نگاشت‌های طولی و عرضی هر زلزله به‌طور همزمان به‌ترتیب در جهات طولی و عرضی مخزن به سیستم اعمال گردیده‌اند. لازم به ذکر است که جهت حصول دقت کافی و زمان معقول برای تحلیل دینامیکی، تعداد گام‌های زمانی برابر با ۱۰۰۰ انتخاب شده‌است.

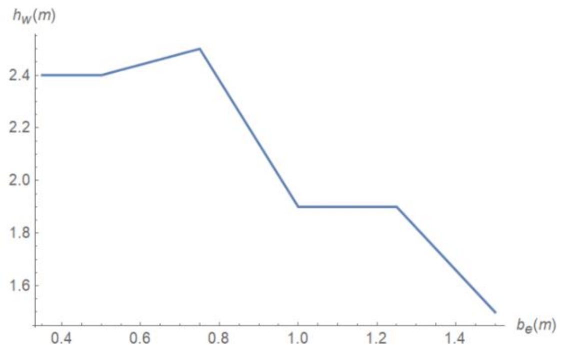
همچنین برای مدل‌سازی حرکت شتاب‌دار مایع درون مخزن صلب و تعیین فشار ماکزیمم ضربه‌ای و ارتفاع ماکزیمم موج، از روش کی‌اپسیلون استفاده شده‌است. در این روش، چگالی و لزجت و ضریب میرایی آب درون مخزن به‌ترتیب برابر با ۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و ۰/۰۰۱ پاسکال‌ثانیه و ۰/۵ درصد فرض گردیده‌اند.

معمولا در مدل‌سازی مخازن با روش اجزای محدود مطابق شکل (۵) جهت نیل به دقت کافی، اندازه‌ی المان برابر ۰/۱ کوچک‌ترین بعد مخزن درنظر گرفته می‌شود [٤٥].



شکل ۵ مش‌بندی مخزن بیضوی

تحلیل حساسیت برای مخزن بیضوی ۵×۱۰×۲۰ متر تحت مؤلفه‌های افقی همزمان زلزله‌ی طبس انجام و نمودار به‌دست‌آمده در شکل (٦) نشان داده شده‌است.

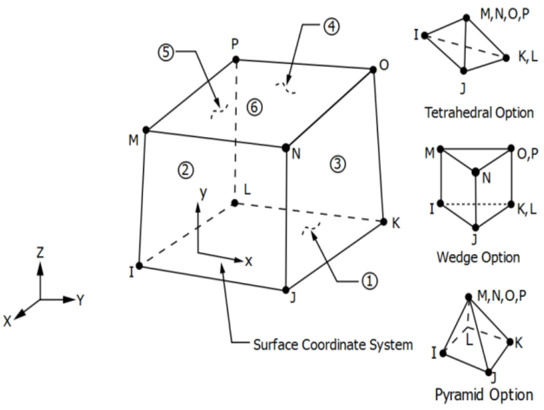


شکل ٦ نمودار ارتفاع ماکزیمم موج برحسب اندازه‌ی المان

با بررسی شکل (٦) مشخص می‌شود که مقدار ارتفاع ماکزیمم موج در اندازه‌ی المان ۰/۵ متر به‌مقدار ۲/٤ متر همگرا می‌گردد.

پدیده‌ی تلاطم در مخزن آب تحت زلزله‌های قوی، تغییرشکل‌های بزرگی را در آب ایجاد می‌کند. در روش لاگرانژی، المان‌های سالید نمی‌توانند تغییرشکل‌های بزرگی را تحمل کنند درحالی‌که در روش اویلری، المان‌های فلویید می‌توانند تغییرشکل‌های بزرگی را تحمل نمایند.

باتوجه به مطالب فوق برای مدل‌سازی آب در نرم‌افزار فلوئنت، مطابق شکل (۷) از المان FLUID30 استفاده شده‌است. این المان مکعبی دارای ۸ گره با درجات آزادی جابه‌جایی و نیز فشار می‌باشد [43].



شکل ۷ المان FLUID30 [43]

شرایط مرزی کف مخزن به‌صورت گیردار و شرایط مرزی دیواره‌های آن به‌صورت صلب تعریف شده‌است. مخزن فاقد سقف می‌باشد لذا سطح فوقانی آن از نوع خروجی فشار تعریف گردیده‌است. همچنین لغزش آب روی سطح در جهت موازی با سطح دیوارها و کف مخزن بااستفاده از گزینه‌ی دیوار استاندارد تأمین گردیده‌است.

لازم به ذکر است که دیوار استاندارد، دیواری است که در مجاورت آن سرعت میانگین و دمای میانگین سیال و نیز انرژی جنبشی و نشت گردابی آشفتگی از قانون توزیع لگاریتمی پیروی می‌نمایند.

پس از مدل‌سازی هندسی و تعریف مصالح و شرایط مرزی و اعمال سرعت‌نگاشت زلزله به مخازن یک‌قلو و دوقلو با لاغری‌ها و کشیدگی‌های مختلف، در نرم‌افزار فلوئنت تحلیل لرزه‌ای گذرا به‌طور همزمان در جهات طولی و عرضی برروی آنها انجام گردیده‌است.

مشخصات مخازن تحت مطالعه در جدول (۲) درج گردیده‌اند.

همچنین مشخصات زلزله‌های اعمالی به مخازن تحت مطالعه در جدول (۳) درج گردیده‌اند.

انتخاب شتاب‌نگاشت زلزله‌ی کیپ به‌دلیل داشتن شتاب ماکزیمم بزرگ (۱٤/۹۷۳ متر بر مجذور ثانیه) انجام شده‌است. هم‌چنین انتخاب شتاب‌نگاشت زلزله‌ی طبس به‌دلیل داشتن جابه‌جایی طیفی ماکزیمم بزرگ (۲/۱۳۱ متر) انجام گردیده‌است.

به‌عنوان نمونه، تلاطم آب درون مخزن J تحت زلزله‌های هم‌زمان طبس طولی و طبس عرضی در شکل (۸) نمایش داده شده‌است.

لازم به ذکر است که فشار ماکزیمم ضربه‌ای آب تحت زلزله‌های هم‌زمان طولی و عرضی در پایین دیوار در انتهای قطر هم‌راستای زلزله‌ی برایند رخ می‌دهد. هم‌چنین ارتفاع ماکزیمم موج آب تحت زلزله‌های هم‌زمان طولی و عرضی در سطح آزاد آب در انتهای قطر هم‌راستای زلزله‌ی برایند اتفاق می‌افتد.

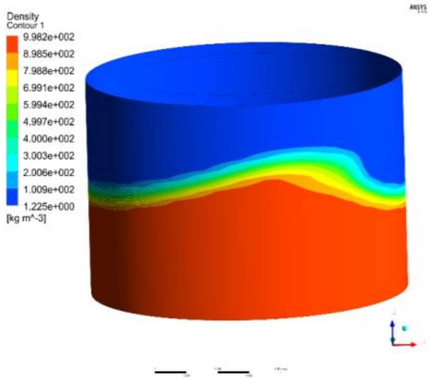
به‌عنوان نمونه نمودار تاریخچه‌زمانی فشار ماکزیمم کل آب تحت اعمال مؤلفه‌های طولی و عرضی زلزله‌ی کیپ به‌طور هم‌زمان به مخزن G در شکل (۹) نشان داده شده‌است.

جدول ۲ مشخصات مخازن تحت مطالعه

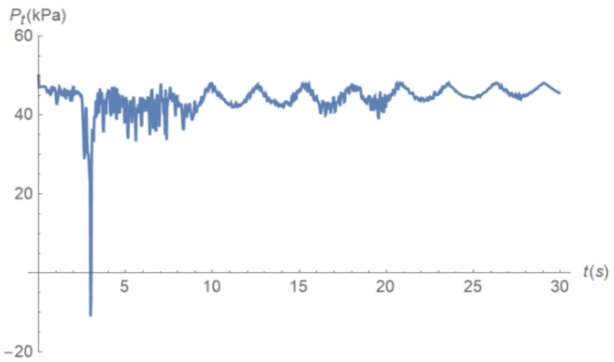
مخزن	نوع	طول (متر)	عرض (متر)	ارتفاع (متر)
A	یک‌قلو	۳۵	۱۰	۵
B	دوقلو	۳۵	۱۰	۵
C	یک‌قلو	۳۰	۱۰	۵
D	دوقلو	۳۰	۱۰	۵
E	یک‌قلو	۲۵	۱۰	۵
F	دوقلو	۲۵	۱۰	۵
G	یک‌قلو	۲۰	۱۰	۵
H	دوقلو	۲۰	۱۰	۵
I	یک‌قلو	۱۵	۱۰	۵
J	دوقلو	۱۵	۱۰	۵
K	یک‌قلو	۲۰	۱۰	٤
L	دوقلو	۲۰	۱۰	٤
M	یک‌قلو	۲۰	۱۰	۳
N	دوقلو	۲۰	۱۰	۳
O	یک‌قلو	۲۰	۱۰	۲
P	دوقلو	۲۰	۱۰	۲
Q	یک‌قلو	۲۰	۱۰	۱
R	دوقلو	۲۰	۱۰	۱

جدول ۳ مشخصات زلزله‌های افقی اعمالی به مخازن

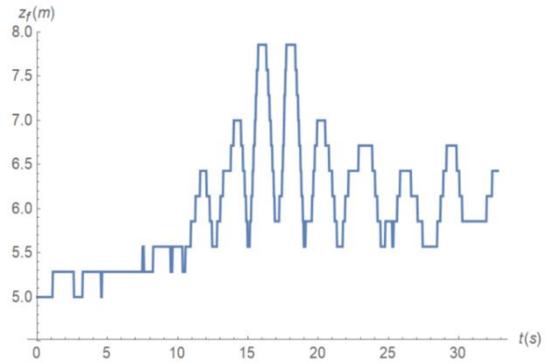
نام زلزله	شتاب بیشینه (متر بر مجذور ثانیه)	سرعت بیشینه (متر بر ثانیه)	جابه‌جایی بیشینه (متر)	زمان تداوم (ثانیه)
کیپ طولی	۱٤/۹۷۳	۱/۲۵۱	۰/۳۹۷	۲۹/۹۸
کیپ عرضی	۱۰/۳۹۵	۰/٤۱۳	۰/۱۲٦	۲۹/۹٤
طبس طولی	۸/۳۵۸	۰/۹۷۸	۰/۳۸۷	۳۲/۸۲
طبس عرضی	۸/۵۱۸	۱/۲۱۳	۰/۹٤۵	۳۲/۷۸



شکل ۸ تلاطم آب درون مخزن J تحت زلزله‌های هم‌زمان طبس طولی و طبس عرضی



شکل ۹ نمودار تاریخچه‌زمانی فشار ماکزیمم کل آب تحت اعمال مؤلفه‌های طولی و عرضی زلزله‌ی کیپ به‌طور هم‌زمان به مخزن G



شکل ۱۰ نمودار تاریخچه‌زمانی تراز ماکزیمم سطح آزاد آب تحت اعمال مؤلفه‌های طولی و عرضی زلزله طبس به‌طور هم‌زمان به مخزن M

هم‌چنین به‌عنوان نمونه نمودار تاریخچه‌زمانی تراز ماکزیمم سطح آزاد آب تحت اعمال مؤلفه‌های طولی و عرضی زلزله‌ی طبس به‌طور هم‌زمان به مخزن M در شکل (۱۰) به نمایش درآمده‌است.

درصد کاهش فشار ماکزیمم ضربه‌ای برحسب درصد از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$P_p = 100\left(1-\frac{\alpha_d P_d}{\alpha_e P_e}\right) \quad (۱۸)$$

در رابطه‌ی فوق P_d و P_e به‌ترتیب، فشار ماکزیمم ضربه‌ای مخازن بیضوی صلب دوقلو و یک‌قلو برحسب پاسکال هستند. هم‌چنین α_d و α_e به‌ترتیب، ضریب تشدید فشار ضربه‌ای مخازن بیضوی منعطف دوقلو و یک‌قلو می‌باشند.

لازم به ذکر است که انعطاف مخزن باعث افزایش فشار ضربه‌ای مایع نسبت‌به حالت مخزن صلب می‌شود که اثر مذکور بااستفاده از ضریب تشدید فشار ضربه‌ای، وارد محاسبات می‌گردد [٤٤].

باتوجه به یکسان بودن جنس و ضخامت دیوارها و کف مخازن یک‌قلو و دوقلوی تحت مطالعه، ضرایب تشدید فشار ضربه‌ای مخازن بیضوی منعطف یک‌قلو و دوقلو با یکدیگر برابر می‌شوند، لذا رابطه‌ی (۱۸) به‌صورت زیر ساده می‌گردد:

$$P_p = 100\left(1-\frac{P_d}{P_e}\right) \quad (۱۹)$$

هم‌چنین درصد کاهش ارتفاع ماکزیمم موج برحسب درصد از رابطه‌ی زیر تعیین می‌گردد:

$$P_h = 100\left(1-\frac{h_d}{h_e}\right) \quad (۲۰)$$

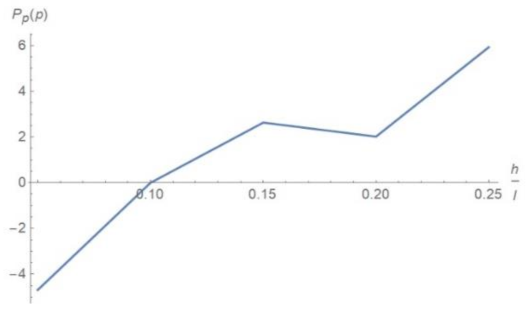
در رابطه‌ی فوق h_d و h_e به‌ترتیب ارتفاع ماکزیمم موج مخزن بیضوی دوقلو و یک‌قلو برحسب متر می‌باشند.

برای بررسی اثر لاغری مخزن بیضوی بر کارایی دیوار داخلی، مخازن بیضوی یک‌قلو و دوقلوی روزمینی دارای کف گیردار با طول ۲۰ متر و عرض ۱۰ متر با ارتفاع‌های آب مختلف تحت زلزله‌های کیپ و طبس به‌طور هم‌زمان در جهات طولی و عرضی با نرم‌افزار فلوئنت مورد تحلیل دینامیکی قرار گرفته‌اند.

لازم به ذکر است که در محاسبه‌ی فشار ماکزیمم ضربه‌ای مایع، شتاب ماکزیمم زلزله بیشترین تأثیر را دارد، لذا در محاسبه‌ی فشارهای ماکزیمم ضربه‌ای مایع، زلزله‌ی کیپ که دارای بیشترین شتاب ماکزیمم است حاکم شده‌است.

هم‌چنین در محاسبه‌ی ارتفاع ماکزیمم موج مایع، جابه‌جایی طیفی ماکزیمم زلزله بیشترین تأثیر را دارد، لذا در محاسبه‌ی ارتفاع‌های ماکزیمم موج مایع، زلزله‌ی طبس که دارای بیشترین جابه‌جایی طیفی ماکزیمم است حاکم گردیده‌است.

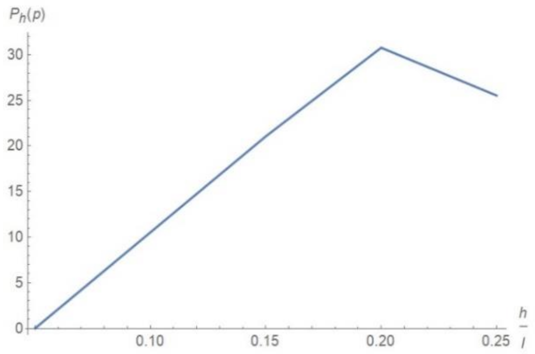
نمودارهای درصد کاهش فشار ماکزیمم ضربه‌ای مایع و درصد کاهش ارتفاع ماکزیمم موج مایع برحسب میزان لاغری مخزن بیضوی به‌ترتیب در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) نمایش داده شده‌اند.



شکل ۱۱ نمودار درصد کاهش فشار ماکزیمم ضربه‌ای مایع برحسب میزان لاغری مخزن بیضوی

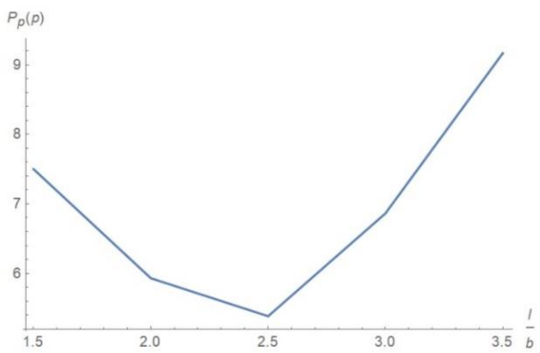
با بررسی شکل‌های (۱۱) و (۱۲) مشخص می‌شود که به‌طور کلی کارایی دیوارهای داخلی در کاهش تلاطم مایع، در مخازن بیضوی لاغرتر بیشتر می‌باشد.

هم‌چنین برای بررسی اثر کشیدگی مخزن بیضوی بر کارایی دیوار داخلی، مخازن بیضوی یک‌قلو و دوقلوی روزمینی دارای کف گیردار با عرض ۱۰ متر و ارتفاع آب ۵ متر با طول‌های مختلف تحت زلزله‌های کیپ و طبس به‌طور هم‌زمان در جهات طولی و عرضی با نرم‌افزار فلوئنت مورد تحلیل دینامیکی قرار گرفته‌اند.

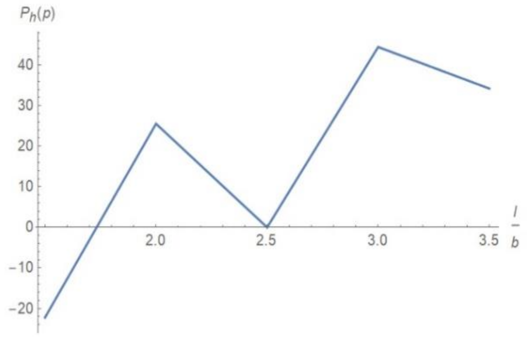


شکل ۱۲ نمودار درصد کاهش ارتفاع ماکزیمم موج مایع برحسب میزان لاغری مخزن بیضوی

نمودارهای درصد کاهش فشار ماکزیمم ضربه‌ای مایع و درصد کاهش ارتفاع ماکزیمم موج مایع برحسب میزان کشیدگی مخزن بیضوی به‌ترتیب در شکل‌های (۱۳) و (١٤) نمایش داده شده‌اند.



شکل ۱۳ نمودار درصد کاهش فشار ماکزیمم ضربه‌ای مایع برحسب میزان کشیدگی مخزن بیضوی



شکل ۱٤ نمودار درصد کاهش ارتفاع ماکزیمم موج مایع برحسب میزان کشیدگی مخزن بیضوی

با بررسی شکل‌های (۱۳) و (۱٤) مشخص می‌شود که به‌طور کلی، کارایی دیوارهای داخلی در کاهش تلاطم مایع، در مخازن بیضوی کشیده‌تر بیشتر می‌باشد.

نتیجه‌گیری

با بررسی نتایج حاصل از این تحقیق مشخص گردید که در مخازن بیضوی روزمینی به‌طور کلی کارایی دیوار داخلی بیضوی در کاهش تلاطم مایع، در مخازن لاغرتر بیشتر است. هم‌چنین مشخص شد که در مخازن مذکور کارایی دیوار داخلی بیضوی در کاهش تلاطم مایع، در مخازن کشیده‌تر بیشتر می‌باشد.

از دیدگاه محاسبه‌ی فشار ماکزیمم ضربه‌ای مایع، زلزله‌ای که بیشترین شتاب ماکزیمم را دارد (زلزله‌ی کیپ با شتاب ماکزیمم ۱٤/۹۷۳ متر بر مجذور ثانیه) بر طراحی مخزن حاکم شد.

از دیدگاه محاسبه‌ی ارتفاع ماکزیمم موج مایع، زلزله‌ای که بیشترین جابه‌جایی طیفی ماکزیمم را دارد (زلزله‌ی طبس با جابه‌جایی طیفی ماکزیمم ۲/۱۳۱ متر) بر طراحی مخزن حاکم گردید.

براساس مطالعات انجام‌شده در این تحقیق به‌واسطه‌ی تقسیم مخزن، نتایج کمی زیر به‌دست آمده‌اند:

۱. بیشترین درصد کاهش فشار ماکزیمم ضربه‌ای مایع برابر با ۵/۹ درصد در میزان لاغری ۰/۲۵ رخ داد.
۲. بیشترین درصد کاهش ارتفاع ماکزیمم موج مایع برابر با ۳۰/۸ درصد در میزان لاغری ۰/۲ رخ داد.
۳. بیشترین درصد کاهش فشار ماکزیمم ضربه‌ای مایع برابر با ۹/۲ درصد در میزان کشیدگی ۳/۵ رخ داد.
٤. بیشترین درصد کاهش ارتفاع ماکزیمم موج مایع برابر با ٤٤/٤ درصد در میزان کشیدگی ۳ رخ داد.

مراجع

1. Meserole, J., and Fortini, A., "Slosh Dynamics in a Toroidal Tank", *Journal of Spacecraft*, Vol. 24, pp. 523 –531, (1987).
2. Bauer, H., and Eidel, W., "Liquid Oscillations in a Prolate Spheroidal Container", *Engineering Archive*, Vol. 59, pp. 371–381, (1989).
3. Barnyak, O., "Normal Oscillations of a Viscous Liquid Partially Filling a Circular Horizontal Channel", *International Journal of Applied Mechanics*, Vol. 33, pp. 335–343, (1997).
4. Bauer, H., "Oscillations of Non-Viscous Liquid in Various Container Geometries", Research report from the University of the Federal Armed Forces, Munchen, (1999).
5. Bauer, H., and Eidel, W., "Free and Forced Oscillations of a Frictionless Liquid in a Long Rectangular Tank with Structural Obstructions at the Free Liquid Surface", *Archive of Applied Mechanics*, Vol. 70, pp. 550–560, (2000).
6. Chen, J., and Kianoush, M., "Generalized Sdof system for Dynamic Analysis of Concrete

Rectangular Liquid Storage Tanks Effect of Tank Parameters on Response", *Canadian journal of civil engineering,* Vol. 37, pp. 262– 272, (2010).

7. Shakib, H., Omidinasab, F., and Ahmadi, M., "Seismic Demand Evaluation of Elevated Reinforced Concrete Water Tanks", *Journal of civil engineering,* Vol. 8, pp. 204– 220, (2010).
8. Goudarzi, M., Yazdi, S., and Marx, W., "Seismic Analysis of Hydrodynamic Sloshing Force on Storage Tank Roofs", *Earthquake spectra journal,* Vol. 26, pp. 131– 152, (2010).
9. Algreane, G., Osman, S., Karim, O., and Kasa, A., "Behavior of Elevated Concrete Water Tank Subjected to Artificial Ground Motion", *Journal of geotechnical engineering,* Vol. 16, pp. 387– 406, (2011).
10. Meskouris, K., Holtschoppen, B., Butenweg, C., and Rosin, J., "Seismic Analysis of Liquid Storage Tanks", International workshop on active tectonics and earthquake geology and archaeology and engineering, Corinth, (2011).
11. Kianoush, M., and Ghaemmaghami, A., "The Effect of Earthquake Frequency Content on the Seismic Behavior of Concrete Rectangular Liquid Tanks Using the Finite Element Method Incorporating Soil Structure Interaction", *Engineering structures journal,* Vol. 33, pp. 2186– 2200, (2011).
12. Wieschollek, M., Kopp, M., Hoffmeister, B., and Feldmann, M., "Seismic Design of Spherical Liquid Storage Tanks", Thematic conference on computational methods in structural dynamics and earthquake engineering, Corfu, (2011).
13. Gavrilyuk, I., Hermann, M., Lukovsky, I., Solodun, O., and Timokha, A., "Multimodal Method for Linear Liquid Sloshing in a Rigid Tapered Conical Tank", *Engineering computations journal,* Vol. 29, pp. 198– 220, (2012).
14. Kazem, H., and Mehrpouya, S., "Estimation of Sloshing Wave Height in Broad Cylindrical Oil Storage Tanks Using Numerical Methods", *Journal of structural engineering and geotechnics,* Vol. 2, pp. 55–59, (2012).
15. Cakir, T., and Livaoglu, R., "Fast Practical Analytical Model for Analysis of Backfill Rectangular Tank Fluid Interaction Systems", *Soil dynamics and earthquake engineering journal,* Vol. 37, pp. 24– 37, (2012).
16. Moslemi, M., and Kianoush, M., "Parametric Study on Dynamic Behaviour of Cylindrical Ground Supported Tanks", *Engineering structures journal,* Vol. 42, pp. 214– 230, (2012).
17. Jabar, A., and Patel, H., "Seismic Behaviour of rc Elevated Water Tank under Different Staging Pattern and Earthquake Characteristics", *Journal of advanced engineering research and studies,* Vol. 1, pp. 293– 296, (2012).

18. Kralik, J., "Dynamic Analysis of Soil Fluid Tank Interaction due to Earthquake Event", *International conference on dynamics of rigid and deformable bodies,* Ustinadlabem, (2012).
19. Ranjbar, M., Bozorgmehrnia, S., and Madandoust, R., "Seismic Behaviour Evaluation of Concrete Elevated Water Tanks", *Civil engineering infrastructures journal,* Vol. 46, pp. 175–188, (2013).
20. Yosefi, A., Naderi, R., Talebpur, M., and Shahabifar, H., "Static and Dynamic Analysis of Storage Tanks Considering Soil Structure Interaction", *Journal of applied and basic sciences,* Vol. 6, pp. 515–532, (2013).
21. Kalani, L., Navayineya, B.,Tavakoli, H., and Vaseghi, J., "Dynamic Analysis of Elevated Water Storage Tanks due to Ground Motions Rotational and Translational Components", *Journal of science and engineering,* Vol. 39, pp. 4391–4403, (2014).
22. Kotrasova, K., Grajciar, I., and Kormanikova, E., "Dynamic Time History Response of Cylindrical Tank Considering Fluid Structure Interaction due to Earthquake", *Applied mechanics and materials journal,* Vol. V617, pp. 66– 69, (2014).
23. Tiwari, N., and Hora, M., "Interaction Analysis of Intze Tank Fluid Layered Soil System", *Journal of engineering and applied sciences,* Vol. 10, pp. 940– 953, (2015).
24. Tiwari, N., and Hora, M., "Transient Analysis of Elevated Intze Water Tank Fluid Soil System", *Journal of engineering and applied sciences,* Vol. 10, pp. 869– 882, (2015).
25. Alemzade, H., and Shakib, H., "Numerical Study of the Response of Ground Steel Tanks with Free Rocking Motion under Effect of Horizontal Excitation of Earthquake", *Structure and steel journal*, Vol. 13, pp. 71–79, (2016).
26. Musa, A., and Eldamatty, A., "Design Procedure for Liquid Storage Steel Conical Tanks under Seismic Loading", *Canadian Journal of civil engineering,* Vol. 44, No. 9, pp. 1– 53, (2017).
27. Sensebastian, N., Thomas, A., and Kurian, J., "Seismic Analysis of Elevated Water Tank in a Framed Building", *Journal of Engineering and Technology,* Vol. 4, pp. 1629– 1632, (2017).
28. Gurkalo, F., Du, Y., Poutos, K., and Bescos, C., "The Nonlinear Analysis of an Innovative Slit Reinforced Concrete Water Tower in Seismic Regions", *Engineering structures journal*, Vol. 134, pp. 138– 149, (2017).
29. Kotrasova, K., Hegedusova, I., Harabinova, S., Panulinova, E., and Kormanikova, E., "The Possible Causes of Damage to Concrete Tanks Numerical Experiment of Fluid Structure Soil Interaction", *Keyengineering materials journal,* Vol. 738, pp. 227– 237, (2017).
30. Phan, H., Paolacci, F., Bursi, O., and Tondini, N., "Seismic Fragility Analysis of Elevated Steel Storage Tanks Supported by Reinforced Concrete Columns", *Journal of loss prevention*

in the process industries, Vol. 47, pp. 57–65, (2017).

31. Compagnoni, M., and Curadelli, O., "Experimental and Numerical Study of the Response of Cylindrical Steel Tanks under Seismic Excitation", *International Journal of civil engineering,* Vol. 16, No. 2, pp. 1– 13, (2017).
32. Naresh, K., "Seismic Analysis of Over Head Intze Water Tank Subjected to Sloshing Effect", *International journal of innovative research in technology,* Vol. 6, pp. 105– 112, (2019).
33. Joseph, A., and Joseph, G., "Fluid Structure Soil Interaction Effect on Dynamic Behaviour of Circular Water Tanks", *International journal of structural engineering,* Vol. 10, No. 1, pp. 25– 39, (2019).
34. Rawat, A., Mittal, V., Chakraborty, T., and Matsagar, V., "Earthquake Induced Sloshing and Hydrodynamic Pressures in Rigid Liquid Storage Tanks Analyzed by Coupled Acoustic Structural and Euler Lagrange Methods", *Thin walled structures journal,* Vol. 134, pp. 333–346, (2019).
35. Behnamfar, F., Moradi, R., and Hashemi, S., "Dynamic Analysis of Flexible Concrete Cylindrical Storage Tanks Subjected to Horizontal and Vertical Ground Motion", *Journal of concrete research,* Vol. 12, pp. 39– 57, (2019).
36. Uhlirova, L., and Jendzelovsky, N., "Dynamic Analysis of Rectangular Tank Using Response Spectra", *Vibroengineering procedia journal,* Vol. 23, pp. 99– 104, (2019).
37. Zhang, R., Chu, S., Sun, K., Zhang, Z., and Wang, H., "Effect of the Directional Components of Earthquakes on the Seismic Behavior of an Unanchored Steel Tank", *Applied sciences journal,* Vol. 10, No. 16, pp. 1– 13, (2020).
38. Rawat, A., Matsagar, V., and Nagpal, A., "Seismic Analysis of Steel Cylindrical Liquid Storage Tank Using Coupled Acoustic-structural Finite Element Method for Fluid-structure Interaction", *International journal of acoustics and vibration,* Vol. 25, pp. 27– 40, (2020).
39. Jani, B., Agrawal, V., and Patel, V., "Effects of Soil Condition on Elevated Water Tank Using Time History Analysis with Different Staging Systems", *International journal of civil engineering,* Vol. 7, pp. 41– 47, (2020).
40. Dubey, A., Maurya, M., and Tripathi, S., "Time History Analysis of Underground Water Tank for Different Seismic Intensities", *International journal of science and research,* Vol. 9, pp. 963– 967, (2020).
41. Pandit, A., and Biswal, K., "Evaluation of Dynamic Characteristics of Liquid Sloshing in Sloped Bottom Tanks", *International journal of dynamics and control,* Vol. 8, pp. 162– 177, (2020).
42. Ibrahim, R., "Liquid Sloshing Dynamics", Cambridge university press, New York, USA,

(2005).

43. "ANSYS Documentation", SAS IP Inc., Southpointe, USA, (2016).

44. Moslemi, M., "Seismic Response of Ground Cylindrical and Elevated Conical Reinforced Concrete Tanks", Ryerson university, Toronto, Canada, (2011).

٤٥. وهابی، ح.، "مرجع کامل طراحی مکانیزم‌های صنعتی به‌روش المان محدود در ANSYS"، انتشارات اندیشه سرا، تهران، ایران، (۱۳۹۵).